

УДК (UDC) 656.073

## TO THE QUESTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF RATIONAL PLANNING OF TECHNOLOGICAL SECTIONS OF THE WAREHOUSE

Илесалиев Д.И.<sup>1</sup>, Шихназаров Ж.А.<sup>1</sup>, Мерганов А.М.<sup>1</sup>  
Ilesaliev D.I.<sup>1</sup>, Shixnazarov J.A.<sup>1</sup>, Merganov A. M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
(Ташкент, Узбекистан)

<sup>1</sup> – Tashkent Institute of Railway Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

**Abstract:** Modern railway warehouses have an important place in the supply chain. The main task of the railway warehouses is to convert incoming cargo flows with large quantities into outgoing flows. This article discusses the structure of the functioning of a standard railway warehouse. Based on the coating method and methods of V.P. Sityaev developed a rational version of the layout of the railway warehouse, taking into account the cost criteria, representing the amount of logistics costs. Based on the results of the study, three options of non-traditional warehouse planning schemes were obtained and recommended.

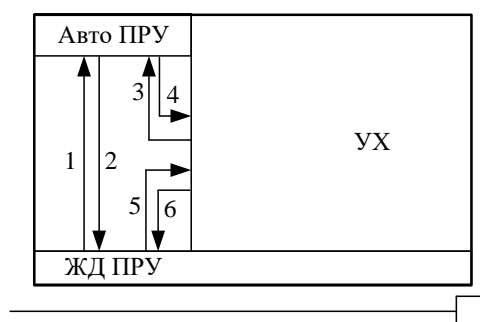
**Key words:** railway warehouse, coating method, rational option, layout of the railway warehouse.

## К ВОПРОСУ О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ СКЛАДА

**Аннотация:** Современные железнодорожные склады имеют важное место в цепях поставок. Главной задачей железнодорожных складов заключается в преобразовании входящих грузопотоков с крупными партиями в выходящие потоки. В данной статье рассмотрена структура функционирования стандартного железнодорожного склада. На основе метода покрытия и методики В.П. Ситяева был разработан рациональный вариант планировки железнодорожного склада, с учетом критериев затрат, представляющих сумму логистических издержек. По результатам исследования получены и рекомендованы три варианта нетрадиционных схем планирования складов.

**Ключевые слова:** железнодорожный склад, метод покрытия, рациональный вариант, планировка железнодорожного склада.

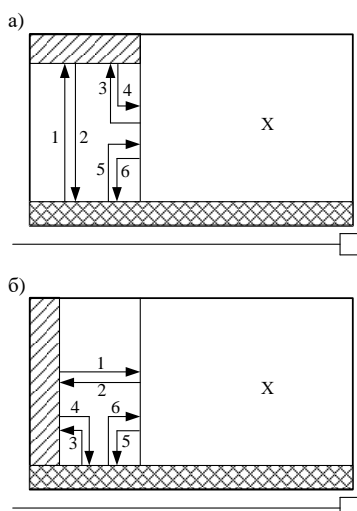
Современные железнодорожные склады имеют важное место в цепях поставок, их задача заключается в преобразовании входящих грузопотоков с крупными партиями в выходящие потоки [1-9]. Железнодорожные склады, как и любой материальный объект, представляющий собой совокупность элементов, которые связаны между собой и имеют четкую структуру и объединены общей целью, которую можно рассматривать как систему. На рисунке 1 приведена структура железнодорожного склада как технической системы, представляющей собой совокупность технологических участков.



**Рисунок 1. Структура современного торгового склада**

На рисунке 1: ЖД ПРУ – железнодорожный погрузочно-разгрузочный участок; Авто ПРУ – автомобильный погрузочно-разгрузочный участок; УХ – участок основного хранения грузов; 1-6 – грузопоток внутри склада.

Основные варианты расположения технологических участков (см. рисунок 2) выбирается при определении общей компоновки склада в зависимости от грузопотока. Как и любая система, функционирование железнодорожного склада должно быть слаженной, в связи с чем данное исследование направленно на поиск рационального размещения технологических участков.



**Рисунок 2. Варианты расположения технологических участков**

В.П. Ситяев предложил оригинальную методику выбора оптимального варианта планировочного решения лесного склада, которую можно успешно использовать при проектировании торговых складов. Исследования [10], выполненные В.П. Ситяевым для условий проектирования лесного склада, показали, что применение описанной методики позволяет сэкономить транспортные издержки до 40% по сравнению с проектами, разработанными традиционными способами.

В основу метода положен принцип «покрытия» выделенной территории для размещения технологических элементов железнодорожного склада со стандартными фигурами: квадратами, кругами, прямоугольниками (см. рисунок 3). Рациональный вариант планировки выбирается по критерию затрат, представляющих сумму логистических издержек, связанных со строительством коммуникаций [11].

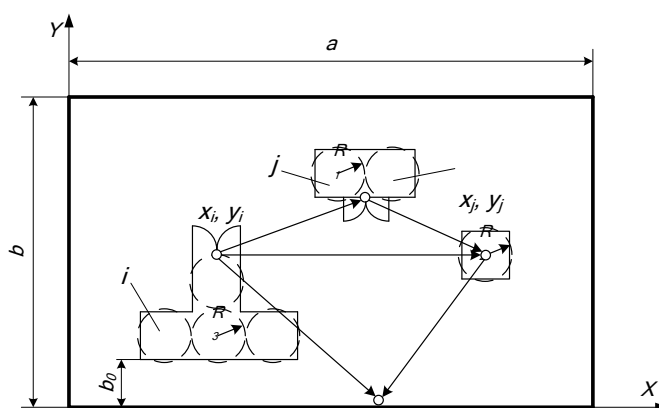


Рисунок 3. Метод «покрытия»

Пусть  $i$  и  $j$  – размещаемые технологические участки на плане железнодорожного склада;  
 $x_i, y_i, x_j, y_j$  – координаты точек технологических участков, представляющие пункты входы и выхода грузопотоков;  
 $a$  и  $b$  – установленные размеры железнодорожного склада;  
 $c_{ij}$  – удельная стоимость перемещения 1 т груза из пункта  $i$  в пункт  $j$ ;  
 $Q_{ij}$  – годовой объём перевозок между технологическими участками  $i$  и  $j$ ;  
 $r_i$  и  $r_j$  – минимальные расстояния между участками железнодорожного склада при напытии кругами (см. рис. 3).

Тогда задачу выбора оптимального варианта планировки формируем следующим образом:

$$R^* = \min_{x_i, x_j} \sum_{ij} C_{ij} Q_{ij} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (1)$$

если:

$$r_i \leq x_i \leq a - r_i, \quad (2)$$

$$r_i \leq y_i \leq b - r_i, \quad (3)$$

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \geq (r_i + r_j)^2, \quad (4)$$

$$(x_{ij}, y_{ij}) \geq 0, \quad (5)$$

Ограничения (1)-(5) определяют условия размещения технологических участков железнодорожного склада на выделенной территории. В зависимости от местных условий могут быть приведены ограничения, определяемые минимальным приближением объекта, например,  $b_0$  к железнодорожным путям и т.д.

Поиск рационального планирования решения ведется методом направленного перебора вариантов размещения. Выбор конкурентоспособного варианта размещения технологических участков должен удовлетворять не только ограничениям (2), но и технологическим требованиям.

Для выбранного варианта решается задача математического программирования (1) -(5), определяется условно рациональный с точки зрения минимизации целевой функции вариант планировки. Если по условиям технологии возможна другая композиция технологических участков склада на его территории, то и для них выполняются аналогичные расчёты. В итоге находят рациональное планировочное решение склада.

**Обсуждение результатов.** Реализуем математическую модель рационального поиска расположения технологических участков, соответствующие количеству испытаний  $N_k$ . С этой целью на рисунке 4 в последовательном порядке изобразим расположения дверей участков, в итоге для принятых вариантов определим наиболее рациональный вариант.

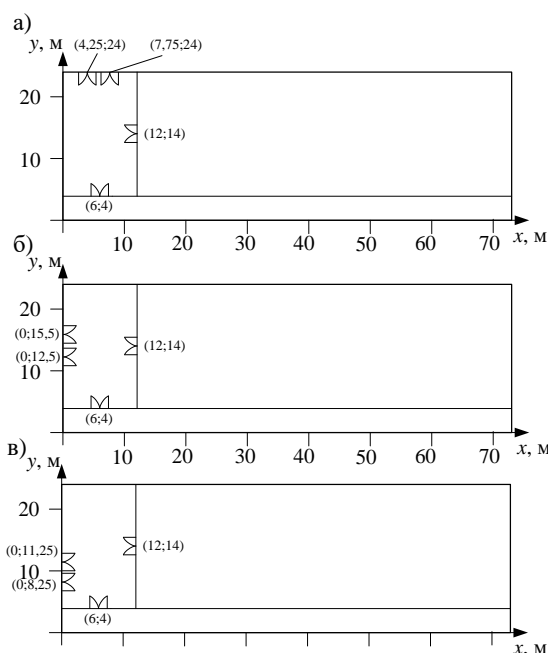


Рисунок 4. Варианты расположения технологических участков

Для I варианта расположения технологических участков (см. рисунок 4, а):

$$R_I = 100 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot \left[ \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-7,75)^2 + (14-24)^2} + \sqrt{(6-7,75)^2 + (4-24)^2} + \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-4,75)^2 + (14-24)^2} \sqrt{(6-4,75)^2 + (4-24)^2} \right] = 43496939 \text{ y.e.}$$

Для II варианта (см. рисунок 4, б):

$$R_{II} = 100 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot \left[ \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-7,75)^2 + (14-24)^2} + \sqrt{(6-7,75)^2 + (4-24)^2} + \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-4,75)^2 + (14-24)^2} \sqrt{(6-4,75)^2 + (4-24)^2} \right] = 35443014 \text{ y.e.}$$

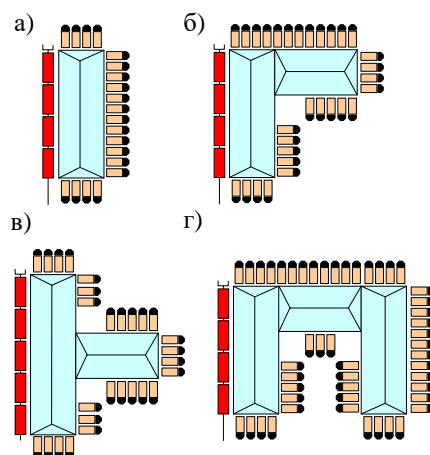
Для III варианта (см. рисунок 4, в):

$$R_{III} = 100 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot \left[ \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-7,75)^2 + (14-24)^2} + \sqrt{(6-7,75)^2 + (4-24)^2} + \sqrt{(6-12)^2 + (4-14)^2} + \sqrt{(12-4,75)^2 + (14-24)^2} \sqrt{(6-4,75)^2 + (4-24)^2} \right] = 32852424 \text{ y.e.}$$

Таким образом, рациональное расположение технологических участков железнодорожного склада, соответствующее минимуму затрат, равно третьему варианту.

**Заключение.** По результатам моделирования при поиске наиболее рационального планирования технологических участков получены и рекомендованы три варианта нетрадиционных схем планирования этих видов складов (см. рисунок 5).

На рисунке 5: а – традиционное планирование железнодорожного склада; б – Г-образное планирование склада; в – Т-образное планирование склада; г – П-образное планирование склада.



**Рисунок 5. Различные формы планирования железнодорожных складов для организации в них технологии кросс-докинг**

В общем случае при построении математической модели рационального планирования участков склада следует учитывать нормы технологического проектирования складов общего назначения.

### Литература

1. Илесалиев Д.И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – Вып. 6. – № 34. – С. 52-59.
2. Илесалиев Д.И. Использование различных схем расположения проходов склада тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Логистика: современные тенденции развития: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. 9.10 апреля 2015 г.: мат. докл. / отв. ред. В. С. Лукинский. – СПб.: ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 174-176.
3. Илесалиев Д.И. К вопросу о вместимости складов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – Вып. 2. – С. 154-162.
4. Илесалиев Д.И. К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – Вып. 1. – С. 99-106.
5. Илесалиев Д.И. К Обоснованию параметров вместимости крытого склада штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2017. – Вып 4. – С. 70-79.
6. Илесалиев Д.И. Обоснование выбора вариантов компоновки стеллажей и проходов для тарно-штучных грузов в крытых складах / Д.И. Илесалиев // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2017. – Вып. 4. – № 13. – С. 19-23.
7. Илесалиев Д.И. Обоснование проекта сети грузовых терминалов тарно-штучных грузов / Д.И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – Вып. 4. – С. 110-116.
8. Илесалиев Д.И. Определение оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов / Д.И. Илесалиев, Е.К. Коровяковский // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 227-233
9. Илесалиев Д.И. Рекомендации по организации и управлению складом от А до Z / Д.И. Илесалиев // Логистика. – 2018. – Вып.1. – № 134. – С. 18-20.
10. Ситяев В.П. Оптимизация размещения технологических объектов на площадке нижних складов / В.П. Ситяев: Автореф. канд. техн. наук. Химки, 1977. – 18 с.

11. Смахов А.А. Математические модели процессов грузовой работы – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.

### References

1. Ilesaliev D.I. The influence of the location of the aisles between the racks on the performance of the water transport warehouse / D.I. Ilesaliev, E.K. Korovyakovsky // Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova. - 2015. - Issue. 6. - No. 34. - p. 52-59.
2. Ilesaliev D.I. The use of various layouts of passages of the warehouse of piece cargo / D.I. Ilesaliev // Logistics: modern development trends: materials of the XIV Intern. scientific-practical conf. April 9, 2015: mat. doc. / holes ed. V.S. Lukinsky. - SPb.: State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarova., 2015. -- p. 174-176.
3. Ilesaliev D.I. On the issue of the capacity of packaged piece goods / D.I. Ilesaliev // Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University. - 2017. - Issue. 2. - p. 154-162.
4. Ilesaliev D.I. To the question of the layout of shelving in the warehouse / D.I. Ilesaliev // Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University. - 2017. - Issue. 1. - p. 99-106.
5. Ilesaliev D.I. To the Justification of the parameters of the capacity of the covered warehouse of piece cargo / D.I. Ilesaliev // Crede Experto: transport, society, education, language. - 2017. - Issue 4. - p. 70-79.
6. Ilesaliev D.I. Justification of the choice of layout options for racks and passages for tare-piece cargo in covered warehouses / D.I. Ilesaliev // Transport of the Asia-Pacific region. - 2017. - Issue. 4. - No. 13. - p. 19-23.
7. Ilesaliev D.I. Justification of the project of a network of freight terminals of packaged goods / D.I. Ilesaliev // Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University. - 2016. - Issue. 4. - p. 110-116.
8. Ilesaliev D.I. Determination of the optimal parameters of the loading and unloading section using mathematical methods / D.I. Ilesaliev, E.K. Korovyakovsky // Transport: problems, ideas, prospects: proceedings of the LXXV All-Russian Scientific and Technical Conference of students, graduate students and young scientists. - SPb.: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2015. - p. 227-233
9. Ilesaliev D.I. Recommendations for organizing and managing a warehouse from A to Z / D.I. Ilesaliev // Logistics. - 2018. -- Issue 1. - No. 134. - p. 18-20.
10. Sityaev V.P. Optimization of the placement of technological facilities on the site of lower warehouses / V.P. Sityaev: Author. PhD, 1977. -- 18 p.
11. Smekhov A.A. The mathematical model of the processes of freight work - М.: Транспорт, 1982. - 256 p.

### Сведения об авторах / Information about the authors

**Илесалиев Дауренбек Ихтиярович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортная логистика и сервис», Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашиИИТ). e-mail: [ilesaliev@mail.ru](mailto:ilesaliev@mail.ru)

**Шихназаров Жамол Алишерович** – ассистент кафедры “Транспортная логистика и сервис”, Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашиИИТ).

**Мерганов Аваз Мирсултанович** – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашиИИТ). E-mail: [meravaz@gmail.com](mailto:meravaz@gmail.com)

**Ilesaliev Daurenbek Ihtiyarovich** – PhD in Engineering, department «Transport logistics and service», Tashkent institute of railway engineering (TIRE). e-mail: [ilesaliev@mail.ru](mailto:ilesaliev@mail.ru)

**Shixnazarov Jamol Alisherovich** - department «Transport logistics and service», Tashkent institute of railway engineering (TIRE).

**Avaz Mirsultanovich Merganov** – Head of Department of Research and Training of the teaching staff at Tashkent institute of railway engineering. e-mail: [meravaz@gmail.com](mailto:meravaz@gmail.com)